

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA

Soppressione PL al km 3+639

NV01 VIABILITA'

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS0N 00 D 11 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva	M. Ventura	02.15	E. Cabas	02.15	P. Carlesimo	marzo 2015	F. Sacchi	Marzo 2015

U.O. CORPO STRADALE e GEOTECNICA  
Dott. Ingeg. FRANCESCO SACCHI  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 28

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SINTESI TECNICO DESCRITTIVA</b>	<b>5</b>
2.1	Inquadramento generale dell'area	5
2.2	Idrografia	6
2.3	Inquadramento normativo	6
2.4	Identificazione della rete idrografica	8
2.4.1	<i>Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge</i>	8
2.4.2	<i>Il modello probabilistico TCEV</i>	8
2.4.3	<i>Il modello probabilistico di Gumbel</i>	11
2.5	Analisi delle precipitazioni	13
2.5.1	<i>Metodo VAPI Sicilia piogge</i>	13
2.6	Stima delle portate	19
2.6.1	<i>Il metodo cinematico o razionale</i>	19
2.6.2	<i>Definizione delle portate</i>	23
2.7	Definizione delle altezze di pioggia per eventi con durata inferiore all'ora	25
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>27</b>

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Coefficienti a e n. ....	18
Tabella 2 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione. ....	22
Tabella 3 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione. ....	22
Tabella 4 - Caratteristiche Morfologiche dei bacini. ....	24
Tabella 5 - Stima dei Tempi di Corrivazione considerati. ....	24
Tabella 6 - Portate di picco per gli attraversamenti idraulici. ....	24

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità. ....	5
Figura 2 Bacini Idrografici fosso minore interferente. ....	6
Figura 3 Stralcio carte di pericolosità idraulica. ....	7
Figura 4 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee. ....	15
Figura 5– Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano. ....	17
Figura 6– Stima grafica dei coefficienti “a” (linea blu) ed “n” (linea verde) per l’opera IV01 al Km 3+639. ....	18
Figura 7– Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione. ....	20
Figura 8 - Curva di Probabilità Pluviometrica Per durate inferiori ad 1 ora (Sicilia, Tr = 25 anni). ....	26

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA												
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS0N</td> <td>00</td> <td>D 11 RI</td> <td>ID0001 001</td> <td>A</td> <td>4 di 28</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS0N	00	D 11 RI	ID0001 001	A	4 di 28
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS0N	00	D 11 RI	ID0001 001	A	4 di 28								

## 1 PREMESSA

Nell'ambito dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Palermo - Catania, nella tratta che si sviluppa tra Catenanuova e Bicocca è prevista la realizzazione di una nuova viabilità alla progressiva chilometrica Km 3 + 639, all'interno del comune di Centuripe.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere necessario alla continuità dei fossi minori individuati e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio della nuova viabilità,

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- Perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza della nuova viabilità;
- Valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- Calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante Metodo VaPi-CNR-piogge per la regione Sicilia (codificato in "La sistemazione dei bacini idrografici" - Seconda edizione- Vito Ferro 2006).
- Valutazione delle portate liquide dei bacini idrografici nella sezione di chiusura, mediante applicazione del metodo razionale.
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA-CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO RS0N 00 D 11 RI ID0001 001 A 5 di 28

## 2 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

### 2.1 Inquadramento generale dell'area

L'intervento progettuale proposto ricade all'interno del bacino del Fiume Dittaino, area situata nel versante orientale dell'Isola, nella provincia di Enna.

La nuova viabilità collega la viabilità podereale posta tra il Fiume Dittaino e la tratta ferroviaria Catenanuova – Bicocca con la Strada Statale n.192 attraverso un cavalcavia ferroviario, parte anch'esso del presente progetto.



Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità.

## 2.2 Idrografia

L'opera in progetto non attraversa corsi d'acqua o torrenti principali, è però presente un lieve incisione sottesa ad un bacino di modesta estensione (circa 15ha).

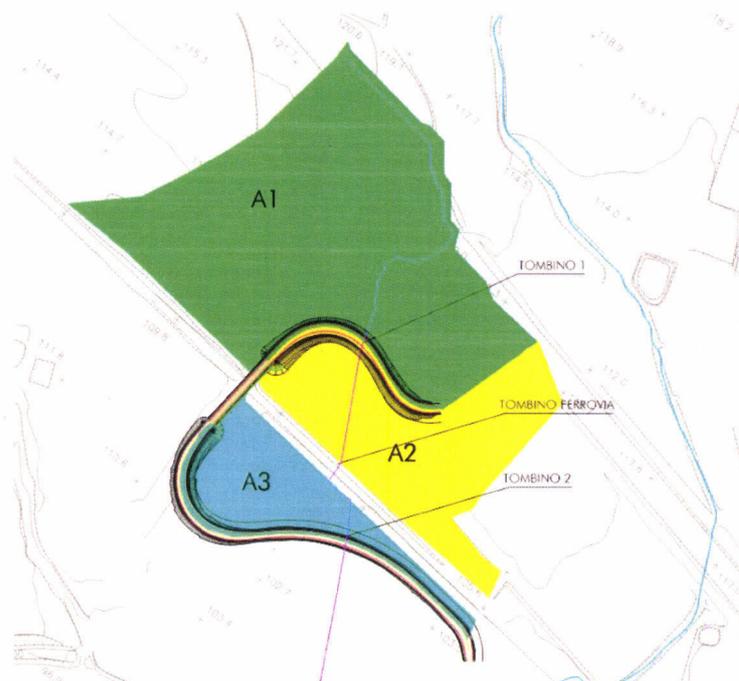


Figura 2 Bacini Idrografici fosso minore interferente.

## 2.3 Inquadramento normativo

L'analisi condotta nel presente studio ha considerato gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. In particolare, all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione è stato consultato il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Simeto (V aggiornamento, anno 2013), al fine di individuare eventuali criticità legate alla presenza del fiume Dittaino.

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale

individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l'infrastruttura di progetto sia esterna alla perimetrazione del Piano di Bacino (Figura 3)

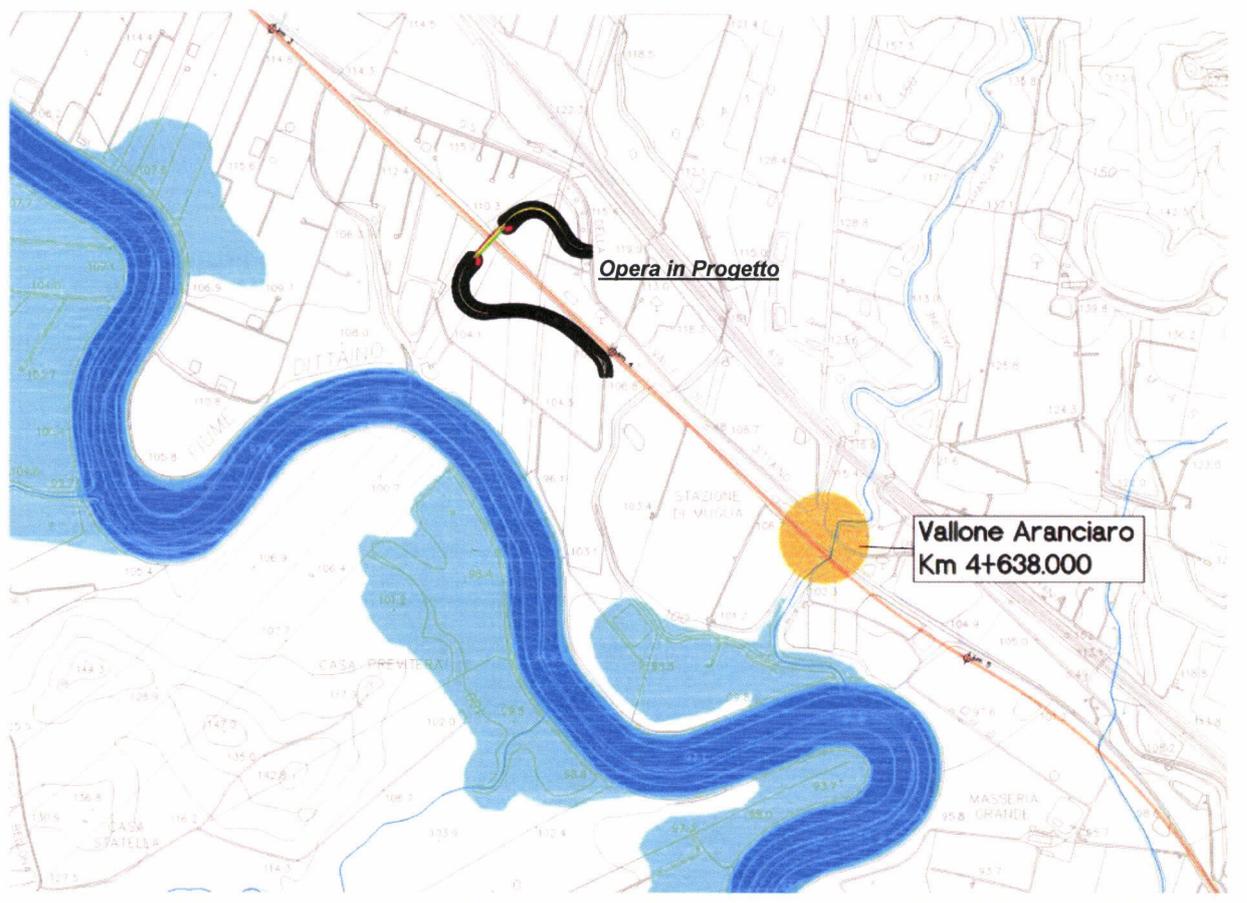


Figura 3 Stralcio carte di pericolosità idraulica.

Dall'analisi della pianificazione vigente si evidenzia che le aree soggette a possibili fenomeni di esondazione o dissesti, determinate dal PAI sono situate a valle dell'attuale tracciato ferroviario.

## 2.4 Identificazione della rete idrografica

### 2.4.1 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge

In questo capitolo vengono esposti i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le leggi teoriche utilizzate in questo studio (TCEV e GUMBEL) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

### 2.4.2 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche di piogge di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\}$$

La funzione ha quattro parametri,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla  $X$ , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1,$$

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ( $\mu(X_t)$ ) per avere, a partire dalla  $K_{t,Tr}$ , la distribuzione di probabilità finale.

$$X_{t,Tr} = \mu(X_t) K_{t,Tr}$$

#### 2.4.2.1 **Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri**

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

### I° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria  $C_A$  sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata  $Y$ , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  possa suddividersi in sottozone in cui il coefficiente di variazione  $C_V$  risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi

differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

### III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la variabilità della pioggia indice  $\mu(X_t)$  con le caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche è tale che l'ipotesi basata sulla ricerca di aree con  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

#### 2.4.3 Il modello probabilistico di Gumbel

La funzione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è:

$$F(h) = \exp(-\exp(-\alpha(h - \varepsilon)))$$

con  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  parametri della distribuzione, che vengono, di norma stimati attraverso il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$\varepsilon = 0.450\mu\sigma$$

dove  $\mu$  e  $\sigma$  sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Per riportare opportunamente i valori di  $h$  corrispondenti ad una fissata probabilità  $F$  (o

periodo di ritorno T) si può invertire la legge F(h) ottenendo:

$$h_T = \varepsilon \left\{ 1 - (\alpha\varepsilon)^{-1} \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

in quanto vale  $T=1/(1-F)$ .  $h_T$  è il valore h della variabile aleatoria H corrispondente al tempo di ritorno T.

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente  $h_T$  in funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:

$$h_T = \mu \left\{ 1 - CV \left[ 0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

Dove CV rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

L'espressione della legge di Gumbel può essere esplicitata come il prodotto della media per una quantità che rappresenta il tasso di crescita della media stessa in funzione del periodo di ritorno, quantità che è chiamata fattore di crescita ( $K_T$ ) e che consente quindi di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$h_T = \mu K_T$$

Tale espressione può essere applicata ai massimi di generica durata d (ore) e sintetizzata nella seguente espressione:

$$h_{d,T} = \mu_d K_T$$

dove  $\mu_d$  è una funzione, e descrive la variazione dell'altezza media di precipitazione in funzione della durata d.

Anche  $K_T$  dipende dalla durata, a causa del fatto che il coefficiente di variazione CV dovrebbe essere calcolato separatamente per ogni intervallo di riferimento. Tuttavia, la variabilità di questa grandezza con la durata risulta essere piuttosto limitata, per cui si può assumere, con buona approssimazione, che CV assuma valore costante, caratteristico del processo di precipitazione estrema, lungo l'arco delle durate comprese

tra 1 e 24 ore. Di conseguenza il fattore di crescita non dipende più dalla durata di precipitazione.

Pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

$$h_{d,T} = \mu_d \left\{ 1 - CV \left[ 0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

esplicitato il termine  $\mu_d$ , altezza di pioggia media per l'evento di durata  $d$ , come  $\mu_d = ad^n$ , si ottiene la seguente espressione per la curva di possibilità pluviometrica:

$$h_{d,T} = a \cdot d^n \left\{ 1 - CV \left[ 0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Questa metodologia è la medesima utilizzata per studi idrologici propedeutici alla stesura del Piano di Assetto Idrologico della Regione Sicilia.

## 2.5 Analisi delle precipitazioni

### 2.5.1 Metodo VAPI Sicilia piogge

In questo capitolo si illustrano i risultati del Progetto VAPI Sicilia per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio insulare. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, riportate nella monografia "La sistemazione dei bacini idrografici", [Seconda edizione- Vito Ferro 2006], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RSON	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### I° Livello di regionalizzazione

L'applicazione della TCEV effettuata facendo ricorso ai massimi annuali delle altezze di pioggia di fissata durata misurati in stazioni localizzate nel territorio siciliano hanno evidenziato, al primo livello di regionalizzazione, la seguente dipendenza dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  dalla durata  $t$ :

$$\Theta^* = 1.95 + 0.0284 \cdot t$$

$$\Lambda^* = 0.175 \cdot t^{0.301}$$

### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione, le Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 4 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro  $\lambda_1$ , indicato con il simbolo  $\Lambda_1$ , che risulta dipendente dalla durata:

Sottozona A	$\Lambda_1 = 14.55 \cdot t^{0.2419}$
Sottozona B	$\Lambda_1 = 12.40 \cdot t^{0.1802}$
Sottozona C	$\Lambda_1 = 11.96 \cdot t^{0.0960}$

In ciascuna sottozona il parametro risulta anch'esso dipendente dalla durata:

Sottozona A	$\alpha = 3.5208 \cdot t^{0.1034}$
Sottozona B	$\alpha = 3.3536 \cdot t^{0.0945}$
Sottozona C	$\alpha = 3.3081 \cdot t^{0.0765}$

Pertanto al  $h'_t$  risulta in ciascuna sottozona identicamente distribuita secondo la:

$$P(h'_t) = \exp \left[ -\lambda_1 \left( \exp \left( \frac{\mu}{g_1} \right) \right)^{-h'_t} - \Lambda_* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left( \exp \left( \frac{\mu}{\Theta^* g_1} \right) \right)^{-h'_t} \right]$$

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

In ciascuna sottozona, per valori del tempo di ritorno  $Tr \geq 10$  anni, la funzione inversa della  $P(h'_t)$  assume la seguente espressione:

$$h'_{t,Tr} = b_0 + b_1 \cdot \log(Tr) \quad (2)$$

Essendo  $h'_{t,Tr}$  i valori di  $h'_t$  di assegnato tempo di ritorno  $Tr$  e in cui i coefficienti  $b_0$  e  $b_1$  sono dipendenti dalla durata secondo le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \text{Sottozona A} \quad b_0(t) &= 0.5391 - 0.001635 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0002121 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966 \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \text{Sottozona B} \quad b_0(t) &= 0.5135 - 0.002264 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0001980 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508 \end{aligned} \quad (3b)$$

$$\begin{aligned} \text{Sottozona C} \quad b_0(t) &= 0.5015 - 0.003516 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101 \end{aligned} \quad (3c)$$

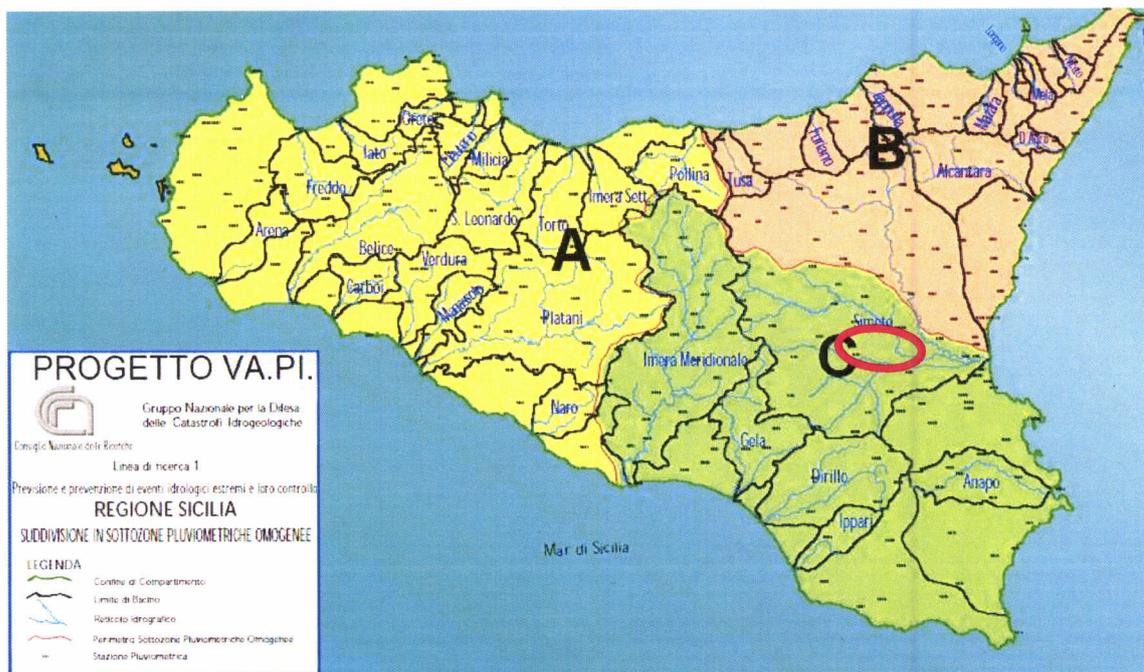


Figura 4 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si otterrà moltiplicando la precedente relazione (2) con i coefficienti determinati per ciascuna sottozona mediante le (3), per la legge di variazione della media della legge TCEV con la durata, ovvero:

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0N	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \cdot \mu(t) \quad (4)$$

In cui  $h_{t,Tr}$  è l'altezza di pioggia di assegnata durata  $t$  e prefissato tempo di ritorno  $Tr$ .

### III° Livello di regionalizzazione

Quest'ultima fase dell'indagine pluviografica aveva come obiettivo quello di individuare un criterio regionale per la stima di  $\mu$  nei siti privi di stazioni di misura o con un numero modesto di anni di osservazione, così da rendere applicabile la (4) in qualsiasi punto della regione.

Confrontando le medie teoriche  $\mu$  con le medie campionarie  $m_c$  si è riscontrato che, per ciascuna durata, i parametri statistici  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$  possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

$$m_c = a \cdot t^n \quad (5)$$

In questo modo è consentito, peraltro, di svincolare il terzo livello di regionalizzazione dalla procedura gerarchica, essendo l'aggiornamento della media campionaria indipendente dalle fasi precedenti.

Questo legame di tipo monomio è stato riconosciuto nelle 172 stazioni pluviografiche siciliane relativamente alle 5 durate di pioggia. Questo risultato consente di definire la curva di possibilità pluviometrica, piuttosto che ricorrendo ai cinque valori della media ( $m_t$  per  $t=1, 3, 6, 12$  e  $24$  ore), con i soli due parametri  $a$  ed  $n$ . Tali parametri sono riportati per ciascuna stazione pluviografica [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993]

Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti  $a$  e  $n$  possono essere stimati sulla base della carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  rappresentati in Figura 5 non essendo stato rilevato né un legame interno tra le due costanti in parola, né una variabilità in funzione dell'altitudine media.

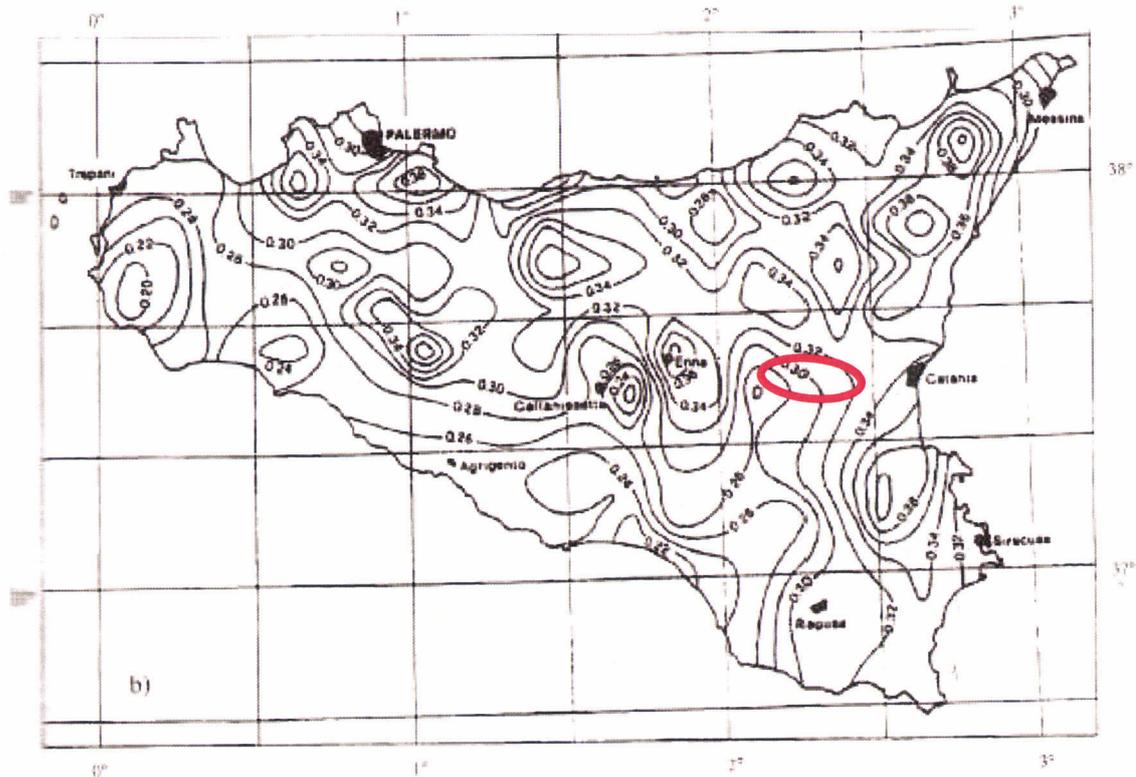
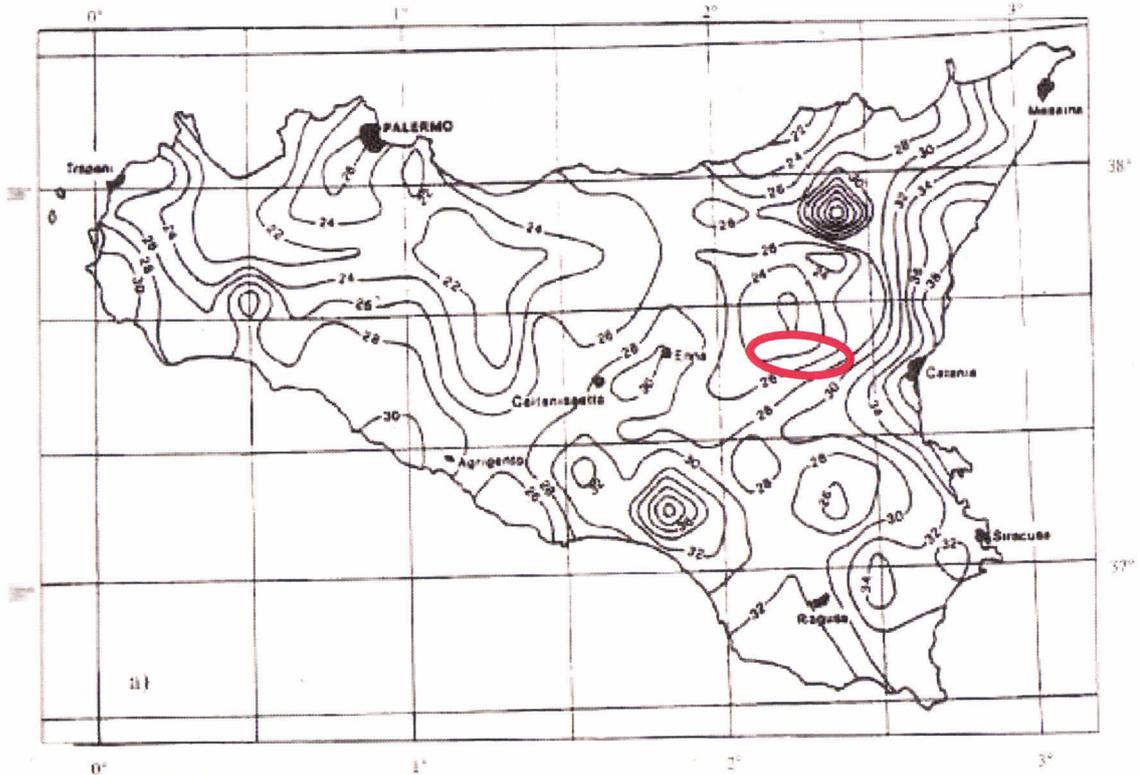


Figura 5- Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

Tutti i bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella sottozona C rappresentata in Figura 4 e, pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

$$h_{t,T_r} = \left[ (0.5015 - 0.003516 \cdot t) + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(T_r) \right] \cdot a \cdot t^n \quad (6)$$

Nella quale i coefficienti  $a$  e  $n$  sono stati stimati sulla base della carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  di Figura 6.

$a$ [mm·h <sup>-n</sup> ]	$n$
24	0.30

Tabella 1 – Coefficienti  $a$  e  $n$ .

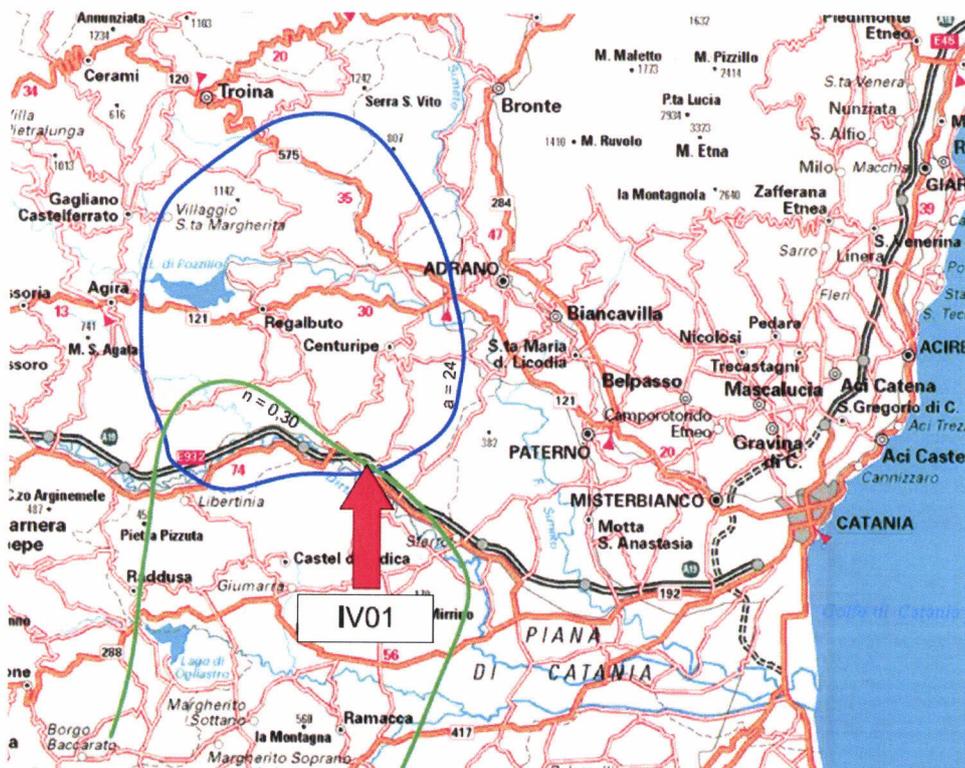


Figura 6– Stima grafica dei coefficienti “ $a$ ” (linea blu) ed “ $n$ ” (linea verde) per l’opera IV01 al Km 3+639.

## 2.6 Stima delle portate

### 2.6.1 Il metodo cinematico o razionale

Il metodo viene usato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di relativamente limitata estensione. In questa sede, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena.

La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui:  $Q$  = portata di piena [ $\text{m}^3/\text{sec}$ ];  
 $\varphi$  = coefficiente di deflusso;  
 $h$  = pioggia netta [m];  
 $S$  = area del bacino [ $\text{km}^2$ ];  
 $\tau_c$  = tempo di corrivazione [ore].

Il valore di  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione  $\tau_c$ : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo  $\tau_c$  solo una parte del bacino  $S$  contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assuma la forma triangolare.

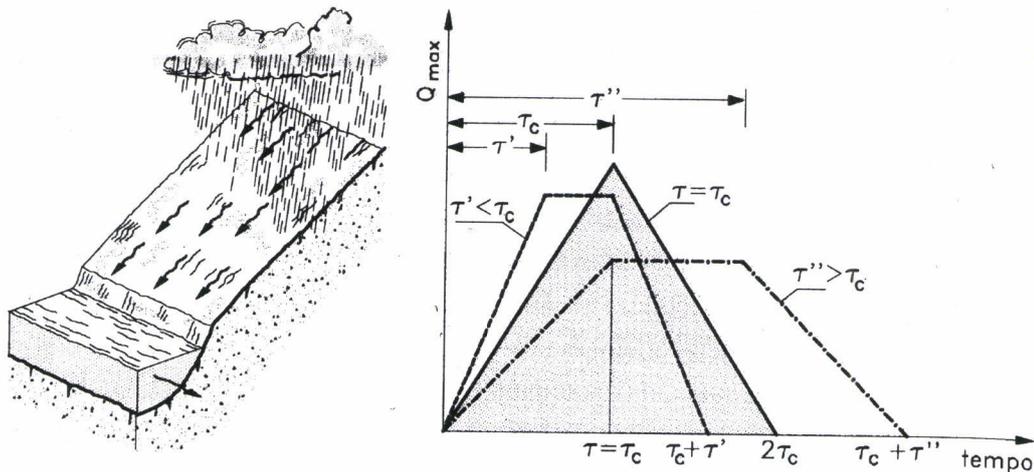


Figura 7– Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino:

$$\tau_c = \frac{(4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L)}{0.8 \cdot \sqrt{(H_m - H_0)}}$$

con

$A$  = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [ $\text{km}^2$ ];

$L$  = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

$H_m$  = quota media del bacino [m s.m.m.];

$H_o$  = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei medesimi.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di

**Ventura** (1905). La relazione ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove  $i_m$  è la pendenza media della rete di drenaggio ed  $A$  la superficie del bacino .

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

All'interno del presente studio è stata utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km<sup>2</sup>

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

E' stata presa in considerazione anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai 1200 ft (365 m). La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

$$\tau_c = (0,342 \cdot N \cdot L \cdot i_m^{-0,5})^{0,467}$$

Con  $N$  = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 2). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.3, valore intermedio alle classi di riferimento per le aree coltivate e quelle adibite al pascolo e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA-CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA				
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RSON	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Tabella 2 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.

Infine una equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Kirpich**. Questa è stata ricavata da dati rilevati in sette bacini agricoli del Tennessee (USA). Questi bacini avevano tutti una canalizzazione ben definita e pendenza tra 0.03 e 0.1 m/m (dal 3 al 10%) e aree da 0.04 a 0.5 km<sup>2</sup>. E' utilizzata ampiamente per bacini urbani, sia per il deflusso delle aree scolanti che per il deflusso nei canali, oltre che per bacini rurali fino a 0.8 km<sup>2</sup>. La formula di Kirpich ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,0662 \cdot k \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,77}$$

dove

$L$  = estensione del percorso più lungo che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura [km];

$i_m$  = è la pendenza media del bacino

$k$  = coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno.

Ground Cover	Kirpich Adjustment Factor, k (Chow et al., 1988; Chin, 2000)
General overland flow and natural grass channels	2
Overland flow on bare soil or roadside ditches	1
Overland flow on concrete or asphalt surfaces	0.4

Tabella 3 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RSON	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Nella presente analisi è stato applicato un coefficiente  $k$  pari a 1.5, poiché rappresentativo di una condizione del suolo intermedia delle prime due categorie riportate nella tabella precedente.

## 2.6.2 Definizione delle portate

Il primo passo per l'individuazione delle portate per ogni bacino consiste nella determinazione del tempo di corrivazione con le formule descritte nel paragrafo 2.6.1. I dati necessari per il calcolo dei tempi ( $S$ ,  $L$ ,  $H_{top}$ ,  $H_0$ ,  $i_m$ ) sono stati determinati grazie allo studio della cartografia disponibile. Le diverse formule presentano dei campi di applicazione differenti a seconda dell'estensione del bacino in esame. Nella presente analisi, il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei risultati ottenuti dall'equazione di Pasini, Pezzoli, Ventura, Kerby e Kirpic.

Per la determinazione della portata liquida con il metodo cinematico è stato imposto un coefficiente di deflusso tale da tener conto del comportamento del suolo in seguito ad eventi estremi e nell'ipotesi di considerare un notevole grado di saturazione dello stesso. In questa fase di valutazione delle portate si è stimato come più plausibile e cautelativo un valore del coefficiente di deflusso pari a **0,5**.

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni. Nel seguito si riportano i risultati ottenuti utilizzando i tempi di corrivazione individuati come media delle diverse formule precedentemente esposte. La portata di ciascun attraversamento è stata valutata calcolando singolarmente i contributi dei bacini A1 A2 e A3 (vedi figura 3 paragrafo 2.3) e sommando a ciascuno di essi la portata del bacino a monte ( $Q_3=Q_3+Q_2+Q_1$ ;  $Q_2=Q_2+Q_1$ ;  $Q_1=Q_1$ ). Poiché per tutti i bacini considerati, il tempo di corrivazione risulta inferiore all'ora, per la stima del valore di  $h$  da inserire nella Formula Razionale, viene utilizzata la formula di Bell, la cui forma verrà descritta nei capitoli successivi, in cui viene riportato il metodo di calcolo delle altezze di pioggia per il drenaggio di piattaforma. Il valore dell'altezza di pioggia con durata pari ad 1 ora e per un  $Tr=200$  anni da inserire nella formula di Bell, viene stimato tramite la metodologia VAPI pari a 67,81mm.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Attraversamento</b>	<b>Bacino Rif.</b>	<b>Superficie Scol.</b>	<b>Lunghezza Asta</b>	<b>Pendenza Media</b>
		Kmq	Km	m/m
Tombino 1	A1	0,09	0,38	0,04
Tombino Ferrovia	A2	0,038	0,252	0,04
Tombino 2	A3	0,021	0,16	0,01

Tabella 4 - Caratteristiche Morfologiche dei bacini

<b>Bacino Rif.</b>	<b>Tc(Kirpich)</b>	<b>Tc(Ventura)</b>	<b>Tc(Pasini)</b>	<b>Tc(Pezzoli)</b>	<b>Tc(Kerby)</b>	<b>Tc Medio</b>
	ore	ore	ore	ore	ore	ore
A1	0.16	0.19	0.18	0.11	0.47	0.22
A2	0.11	0.12	0.11	0.07	0.38	0.27
A3	0.13	0.16	0.14	0.08	0.41	0.34

Tabella 5 - Stima dei Tempi di Corrivazione considerati

<b>Attraversamento</b>	<b>Bacino Rif.</b>	<b>Ht(Bell) – Tr=200 anni</b>	<b><math>\varphi</math></b>	<b>Qmax</b>
		mm		mc/sec
Tombino 1	A1	37,86	0,5	2,14
Tombino Ferrovia	A2	40,77	0,5	2,95
Tombino 2	A3	44,64	0,5	3,33

Tabella 6 - Portate di picco per gli attraversamenti idraulici.

## 2.7 Definizione delle altezze di pioggia per eventi con durata inferiore all'ora

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo. E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h$  di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno  $T$ , è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t) \quad (7)$$

avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale della (1) può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left( \frac{t}{60} \right)^s \quad (8)$$

In cui  $t$  è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti,  $s$  è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame. Nel caso in oggetto, per la Sicilia il coefficiente assume il valore di 0.386 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left( \frac{t}{60} \right)^{0.386} \quad (9)$$

Applicando la formula VAPI (6) per un tempo di ritorno di 25 anni e per una durata di 60 minuti, si ottiene che  $h_{60,T} = 45,89$  mm, pertanto la curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora e per Tempi di Ritorno pari a 25 anni, si può esprimere come:

$$h = at^n$$

Dove:

$a=45,89$

$n=0,386$

$t=$  durata in ore

Pertanto la curva di possibilità pluviometrica per la Sicilia, per eventi di durata inferiore all'ora assume la forma:

$$h_{t,25} = a \cdot t^{0,386} = 45,89 \cdot t^{0,386}$$

Per il calcolo delle portate per eventi inferiori all'ora si rimanda alla descrizione riportata nella Relazione Idraulica per quanto concerne il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma.

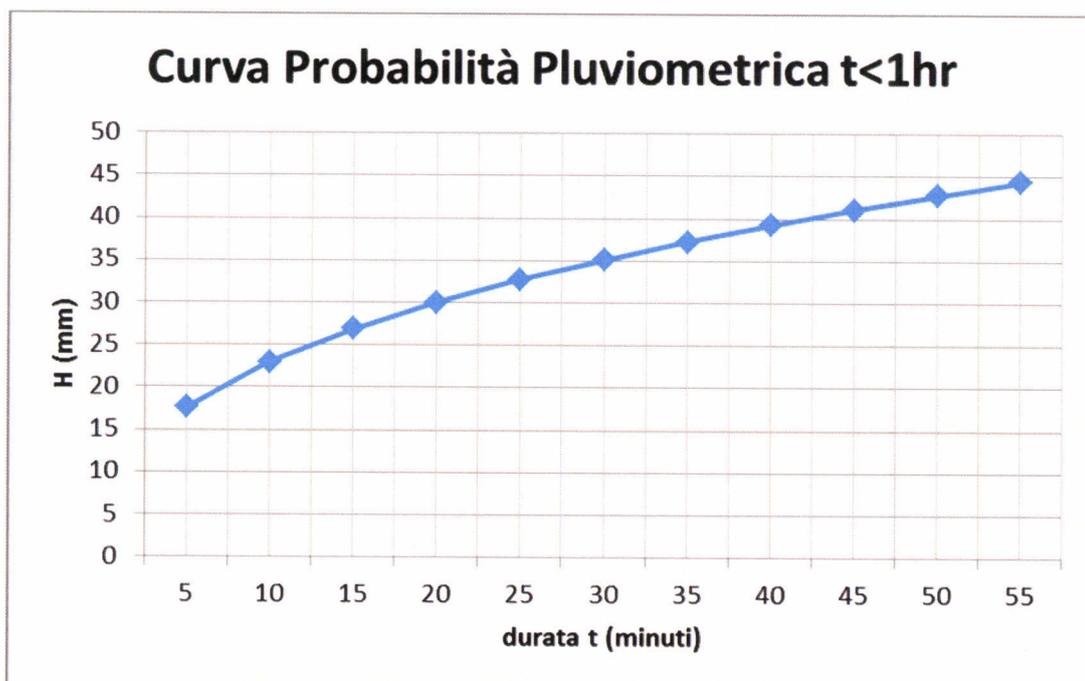


Figura 8 - Curva di Probabilità Pluviometrica Per durate inferiori ad 1 ora (Sicilia,  $Tr = 25$  anni).

## BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.
- Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.
- Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.
- G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989
- Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.
- Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977
- Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.
- Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).
- Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Simeto, Area Territoriale tra il bacino del Fiume Simeto e il bacino del Fiume San Leonardo, Lago di Pergusa, Lago di Maletto – Relazione*, 2005.
- Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.
- Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso [www.osservatorioacque.it](http://www.osservatorioacque.it).
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.
- Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

DM 14 gennaio 2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.